نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸، ص. ۲۸۹-۲۷۵

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 2, Summer. 2019, p. 275-289

بررسی همبستگی و تجزیه علیت عملکرد ذرت دانه‌ای و صفات وابسته به آن در شرایط متفاوت دسترسی به آب و نیتروژن

روژین قبادی[۱]، مختار قبادی[۲*]، سعید جلالی هنرمند[۲]، بهمن فرهادی[۳]، فرزاد مندنی[٤]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۱۲

چکیده

به‌منظور بررسی همبستگی و روابط علت و معلولی بین برخی از صفات با عملکرد ذرت دانه‌ای سینگل‌کراس ۷۰۴ در شرایط مختلف آبیاری و نیتروژن، آزمایشی به‌صورت کرت‌های یک بار خرد شده طی دو سال در دانشگاه رازی اجرا شد. فاکتور اصلی، آبیاری (تأمین ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی) و فاکتور فرعی، نیتروژن (تأمین ۴۰، ۷۰، ۱۰۰ و ۱۴۰ درصد نیاز گیاه) بود. نتایج همبستگی، رگرسیون گام به گام و تجزیه علیت تا حدی مؤید یکدیگر بودند و نشان دادند که روابط صفات با عملکرد دانه تحت‌تأثیر وضعیت دسترسی به آب و نیتروژن قرار می‌گیرد. در تمام شرایط محیطی، صفات وارد شده به مدل‌های رگرسیونی بیش از ۹۵ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند. بر اساس نتایج تجزیه علیت، در شرایط بیش آبیاری و آبیاری کامل، وزن صد دانه و تعداد دانه در ردیف، در تنش ملایم کم آبی، وزن صد دانه و ارتفاع بوته و در تنش شدید کم آبی، عمق دانه و فاصله گرده‌افشانی تا کاکلدهی به دلیل اثرات مستقیم و غیر مستقیم قابل توجه بر عملکرد، به‌عنوان شاخص‌های مناسبی جهت بهبود عملکرد دانه معرفی شدند. در تمام سطوح نیتروژن، انتخاب بر اساس وزن خشک کل و شاخص برداشت مفید خواهد بود. تعداد دانه در ردیف و وزن صد دانه نیز به دلیل اثرات غیر مستقیم بالا بر عملکرد دانه در برخی از سطوح نیتروژن باید مورد توجه قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون گام به گام، عملکرد دانه، کم آبی، متغیر مستقل

مقدمه

عملکرد دانه مهم‌ترین هدف اقتصادی در تولید ذرت (*Zea mays* L.) است و بستگی به پتانسیل ژنتیکی گیاه دارد. با این حال عوامل محیطی و کنترل‌های زراعی نقش مهمی در دست‌یابی به این پتانسیل ژنتیکی دارند (Asghari and Hanson, 1984). مدیریت نامناسب آبیاری و نیتروژن، اصلی‌ترین عوامل کاهش‌دهنده عملکرد ذرت محسوب می‌شوند (Alizadeh Oghyanous *et al*., 2008). اگر آب کافی در دسترس نباشد، کاربرد کودها و ارقام با عملکرد بالا بی‌فایده است (Zeid and Semary, 2001). نیتروژن نیز از عوامل مهم دست‌یابی به عملکرد پتانسیل ذرت است. کمبود نیتروژن باعث بروز صدمات جبران‌ناپذیری به گیاه می‌شود (Alizadeh Oghyanous *et al*., 2008).

عملکرد دانه صفت پیچیده‌ای است که توسط صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مختلفی کنترل می‌گردد (Hunter, 1980). بنابراین کنترل ژنتیکی عملکرد به‌طور غیر مستقیم تحت تأثیر صفاتی است که با عملکرد همبستگی دارند و وراثت‌پذیری آن بیشتر از سایر صفات، تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد (Kalla *et al*., 2001). انتخاب برای صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک آسان و دقیق بوده و توارث‌پذیری و بازده ژنتیکی این صفات نسبتاً بالا است (Dawari and Lutra, 1991). کنترل بهتر اثرات محیطی در برنامه‌های اصلاحی به منظور بهبود عملکرد می‌تواند از طریق انتخاب غیر مستقیم برای صفاتی که علاوه بر وراثت‌پذیری بالا، همبستگی خوبی با عملکرد داشته و کمتر تحت تأثیر تغییرات محیطی باشند، انجام شود (Dawari and Lutra, 1991). لازمه این امر تعیین همبستگی و شناسایی روابط علت و معلولی بین صفات و عملکرد در محیط‌های متنوع می‌باشد. اطلاعات حاصل از این روش، امکان شناسایی و انتخاب مناسب‌ترین ترکیب از صفات به منظور دست‌یابی به عملکرد بیشتر در محیط‌های مختلف را می‌دهد (Griffiths, 1995).

فنوتیپ هر فرد ناشی از تأثیر ژنتیک، محیط و اثر متقابل آن‌ها است. ضرایب همبستگی فنوتیپی نیز به ضرایب همبستگی ژنتیکی و محیطی تفکیک می‌گردد (Falconer and Mackay, 1996).

۱- دانش‌آموخته دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه
۲ و ۴- به‌ترتیب دانشیار و استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه
۳- استادیار گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه
(*- نویسنده مسئول: Email: ghobadi.m@razi.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v17i2.71772

همبستگی ژنتیکی بین صفات عمدتاً ناشی از چند شکلی یا پیوستگی ژن‌ها است. همبستگی محیطی ناشی از این حقیقت است که یک محیط می‌تواند باعث واریانس‌های هم‌زمان متفاوت در دو صفت شود (Singh, 1990). از این‌رو احتمالاً ارتباط بین صفات تحت تأثیر شرایط مختلف محیطی قرار می‌گیرد (Jafarnodeh *et al*., 2017).

هرچند تعیین همبستگی بین صفات با عملکرد می‌تواند در گزینش صفات برای دست‌یابی به ارقام پر محصول، مؤثر باشد، اما ضرایب همبستگی ماهیت ارتباط صفات را مشخص نمی‌کند. انتخاب یک‌طرفه برای صفات دارای همبستگی بالا با عملکرد دانه و بدون در نظر گرفتن صفات دیگر نتیجه مطلوبی نخواهد داشت (Paknejad *et al*., 2009). تجزیه علیت به‌عنوان ابزار دقیق‌تری برای تعیین اهمیت صفات مؤثر بر عملکرد استفاده می‌شود. در این روش ضرایب همبستگی به آثار مستقیم و غیر مستقیم مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل بر یک متغیر وابسته تقسیم می‌گردد (Kumar *et al*., 2013). قبل از تجزیه علیت، با استفاده از رگرسیون گام به گام طی مراحلی صفات غیر مؤثر یا کم تأثیر بر عملکرد از مدل رگرسیونی حذف و در مدل نهایی تنها صفاتی که تغییرات عملکرد را به میزان قابل ملاحظه‌ای توجیه می‌کنند، باقی خواهند ماند (Kordi *et al*., 2016).

مطالعات زیادی در زمینه بررسی همبستگی و تجزیه و تحلیل پارامترهای مؤثر بر عملکرد دانه در ذرت انجام گرفته است. رفیق و همکاران (Rafiq *et al*., 2010) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین طول بلال، وزن هزار دانه و وزن دانه در بلال با عملکرد دانه به‌دست آوردند. در مطالعه امیری و همکاران (Amiri *et al*., 2009) نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام عملکرد دانه به‌عنوان متغیر وابسته نشان داد که صفات وزن هزار دانه و درصد چوب بلال با ضرایب منفی و عمق دانه، وضعیت استقرار و ارتفاع بوته با ضرایب مثبت ۵۲ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند. نتایج به‌دست آمده از تجزیه علیت در بررسی دوی و همکاران (Devi *et al*., 2001) نشان داد که صفات ارتفاع بوته، تعداد روز تا ظهور کاکل، تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک، طول بلال، تعداد دانه در ردیف و وزن صد دانه دارای آثار مستقیم بر روی عملکرد می‌باشند.

رابطه بین عملکرد گیاه با صفات مستقل در شرایط مختلف آبیاری متفاوت است (Razi and Assad, 1999). پورمیدانی و همکاران (Pourmeidani *et al*., 1998) با مطالعه هیبریدهای زودرس ذرت در شرایط نرمال و تنش کم آبی دریافتند که در شرایط نرمال ضرایب همبستگی صفات تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه، وزن بلال و عمق دانه با عملکرد مثبت و معنی‌دار بود. تعداد دانه در ردیف و عمق دانه دارای اثرات مستقیم و مثبت از طریق یکدیگر بر عملکرد بودند. در شرایط تنش کم آبی، عمق دانه اثر مستقیم و ضریب همبستگی مثبت و بالایی بر عملکرد دانه داشت. در مطالعه کردی و همکاران (Kordi *et al*., 2016) در دو روش محلول‌پاشی اوره و مصرف خاکی اوره به‌ترتیب ارتفاع بوته و وزن بلال، دارای بیشترین همبستگی با عملکرد دانه بودند. به علاوه در مدل رگرسیونی حاصل از روش محلول‌پاشی اوره، صفات ارتفاع بوته، تعداد دانه در ردیف، طول بلال و وزن چهارصد دانه ۹۷/۷ درصد از تغییرات عملکرد و در روش مصرف خاکی اوره وزن بلال و وزن چهارصد دانه ۹۸/۱ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه نمودند.

با توجه به این‌که علاوه بر ژنوتیپ، عوامل محیطی و زراعی بر تظاهر فنوتیپ مؤثر هستند (Rahimi *et al*., 2016). بنابراین این تحقیق با هدف بررسی نحوه ارتباط صفات مختلف با یکدیگر و تأثیر آن‌ها بر عملکرد دانه در وضعیت‌های مختلف دسترسی ذرت به آب و نیتروژن انجام شد. تا ضمن شناسایی تأثیرگذارترین صفات بر عملکرد دانه، درک بهتری از نحوه ارتباط و تظاهر صفات در شرایط متغیر محیطی به دست آید.

مواد و روش‌ها

محل اجرای آزمایش

این تحقیق طی سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی واقع در شرق شهرستان کرمانشاه (عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳۱۹ متر از سطح دریا) انجام شد.

طرح و تیمارهای آزمایش

آزمایش به‌صورت کرت‌های یک بار خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتور اصلی چهار سطح آبیاری شامل تأمین ۶۰ درصد (تنش شدید کم آبی، $I_{60\%}$)، تأمین ۸۰ درصد (تنش ملایم کم آبی، $I_{80\%}$)، تأمین ۱۰۰ درصد (آبیاری کامل، $I_{100\%}$) و تأمین ۱۲۰ درصد (بیش آبیاری، $I_{120\%}$) نیاز آبی و فاکتور فرعی چهار سطح نیتروژن شامل تأمین ۴۰ درصد ($N_{40\%}$)، ۷۰ درصد ($N_{70\%}$)، ۱۰۰ درصد ($N_{100\%}$) و ۱۴۰ درصد ($N_{140\%}$) مقدار توصیه شده بر اساس نتایج آزمون خاک بود (جدول ۱).

مدیریت زراعی

به‌منظور آماده‌سازی زمین، شخم پاییزه و دیسک بهاره انجام شد. در هر دو سال بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱)، فسفر به میزان ۱۷۵ کیلوگرم در هکتار از منبع کود سوپرفسفات تریپل و پتاسیم به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع کود سولفات پتاسیم به‌صورت پیش کاشت استفاده شد. طول هر کرت شش متر، فاصله ردیف‌های کاشت ۷۵ سانتی‌متر و تراکم ۷/۵ بوته در مترمربع بود. کاشت بذر ذرت هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴ در هفته دوم اردیبهشت ماه به‌صورت دستی در عمق پنج سانتی‌متری روی پشته انجام شد. در هر کپه سه

عدد بذر ضدعفونی شده با قارچ‌کش کاربوکسین‌تیرام دو در هزار قرار داده شد. به‌منظور رسیدن به تراکم مطلوب، در مرحله چهار برگی بوته‌های اضافی تنک شدند.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Physical and chemical properties of the soil

سال Year		عمق Depth (cm)	بافت خاک Soil texture		اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (meq.100g)	کربن آلی O.C (%)	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	فسفر قابل جذب ava. P (ppm)	پتاسیم قابل جذب ava. K (ppm)
2014	۱۳۹۳	0-30	Clay	رسی	7.37	0.60	27.00	1.48	0.15	5.2	340
		30-60	Clay	رسی	7.40	-	-	1.12	0.11	-	-
2015	۱۳۹۴	0-30	Clay	رسی	7.69	0.55	27.00	1.00	0.10	5.1	350
		30-60	Clay	رسی	7.60	-	-	0.90	0.09	-	-

بر اساس نتایج آزمون خاک، نیاز نیتروژن ذرت، در سال اول ۳۵۰ و در سال دوم ۴۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار تعیین گردید. با توجه به سطوح در نظر گرفته شده برای تیمار نیتروژن، مقدار کود اوره به‌ازای هر کرت محاسبه شد. تقسیط هر سطح نیتروژن به‌صورت یک سوم در مرحله دو برگی، یک سوم در مرحله شش برگی (ابتدای رشد طولی ساقه) و یک سوم قبل از ظهور گل‌تاجی بود. تا قبل از مرحله شش برگی، آبیاری مطلوب برای تمام کرت‌ها صورت گرفت. تیمار آبیاری با شروع مرحله شش برگی بر اساس سطوح در نظر گرفته شده اعمال شد. نیاز آبی با استفاده از اطلاعات روزانه هواشناسی ثبت شده توسط ایستگاه هواشناسی هوشمند مجاور مزرعه تحقیقاتی تخمین زده شد. قبل از هر آبیاری با وارد کردن این اطلاعات در معادله پنمن- مونتیث فائو، ابتدا میزان تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه محاسبه گردید. سپس با استخراج مقادیر ضریب گیاهی ذرت در مراحل مختلف رشد آن برای منطقه کرمانشاه از نرم‌افزار AGWAT (Alizadeh *et al.*, 2002) و ضرب آن در مقادیر روزانه تبخیر و تعرق پتانسیل، تبخیر و تعرق روزانه ذرت محاسبه شد. با جمع کردن مقادیر تبخیر و تعرق روزانه بین دو آبیاری، نیاز خالص آبیاری برای تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد. با فرض راندمان آبیاری معادل ۹۰ درصد، نیاز ناخالص آبیاری تخمین زده شد. نیاز آبیاری سایر تیمارها نیز به‌عنوان ضریبی از نیاز آبیاری تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی محاسبه و مقادیر آب در نظر گرفته شده برای هر کرت در دوره‌های هفت روزه در اختیار گیاهان قرار گرفت. آبیاری توسط لوله پلی‌اتیلن و شلنگ انجام و حجم آب ورودی به کرت‌ها با کنتور کنترل شد. لازم به ذکر است که دلیل انتخاب تیمار بیش آبیاری، عدم اطمینان کافی به دقت روش پنمن- مونتیث فائو برای محاسبه دقیق نیاز آبی در شهرستان کرمانشاه بود.

اندازه‌گیری صفات مورد بررسی

در طول فصل رشد گیاه، یادداشت‌برداری تاریخ وقوع مراحل مختلف نمو فنولوژی برای هر یک از کرت‌ها انجام شد. زمانی که گل‌های تاجی در ۵۰ درصد بوته‌های هر کرت به اندازه ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر از بین برگ‌ها بیرون آمده بودند به‌عنوان تاریخ ظهور گل‌تاجی ثبت گردید. زمانی که محور اصلی گل‌تاجی در ۵۰ درصد از بوته‌های هر کرت در حال آزاد کردن دانه گرده بود به عنوان تاریخ شروع گرده‌افشانی یادداشت شد. زمانی که طول کاکل در ۵۰ درصد از بوته‌های هر کرت به دو تا سه سانتی‌متر رسید به‌عنوان تاریخ کاکلدهی ثبت گردید. برای تعیین تاریخ وقوع رسیدن فیزیولوژیک، از سه هفته پس از ظهور کاکل، در هر کرت سه دانه از دانه‌های بخش میانی چهار بلال خارج و وضعیت پیدایش لایه سیاه بررسی شد. پس از اطمینان از ایجاد لایه سیاه در ۹۰ درصد از بوته‌های هر کرت، تاریخ وقوع رسیدن فیزیولوژیک ثبت شد.

بعد از توقف رشد طولی ذرت در زمان ظهور گل‌تاجی، ارتفاع هشت بوته از هر کرت از زمین تا اولین شاخه فرعی گل‌تاجی بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. در پایان فصل رشد، با حذف دو خط کناری و دو بوته از ابتدا و انتهای هر کرت، بخش هوایی بوته‌های دو خط میانی هر کرت برداشت و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و پس از توزین به‌عنوان وزن خشک کل (گرم در مترمربع) منظور شد. در زمان برداشت، میزان رطوبت دانه‌های هر کرت به‌وسیله دستگاه رطوبت‌سنج مدل GMK-303RS ساخت شرکت GWON کره جنوبی تعیین گردید. بعد از جدا کردن دانه‌ها از چوب بلال، عملکرد دانه با توجه به رطوبت اندازه‌گیری شده محاسبه و بر اساس رطوبت ۱۴ درصد بر حسب گرم در مترمربع گزارش شد. برای هر کرت تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در بلال، وزن صد دانه (گرم)، طول بلال (میلی‌متر)، قطر بلال (میلی‌متر)، قطر چوب بلال (میلی‌متر)، عمق دانه (تفاوت قطر بلال و

قطر چوب بلال) و درصد چوب بلال با استفاده از هشت بلال اندازه‌گیری شدند. شاخص برداشت (درصد) نیز با تقسیم عملکرد دانه به وزن خشک کل محاسبه گردید. به منظور تعیین ابعاد دانه، ۳۰ دانه به‌طور تصادفی از هر کرت انتخاب و سه بعد اصلی شامل، طول، عرض و ضخامت هر دانه بر حسب میلی‌متر با استفاده از کولیس دیجیتال ساخت شرکت Mitutoyo ژاپن با دقت یک صدم میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

تجزیه‌های آماری

آزمون نرمال بودن داده‌ها به روش Kolmogorov-smirnov و نرمال کردن داده‌های غیر نرمال به روش Box-Cox با استفاده از نرم‌افزار Minitab 16.0 صورت گرفت. برای هر یک از سطوح آبیاری و نیتروژن ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات مورد بررسی با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16.0 برآورد شد. در تمام سطوح آبیاری و نیتروژن عملکرد دانه به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند و تجزیه رگرسیون گام به گام برای شناسایی صفات مؤثر بر عملکرد دانه نیز با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16.0 انجام گردید. اثرات مستقیم و غیر مستقیم صفات بر عملکرد دانه از طریق تجزیه علیت با استفاده از نرم‌افزار PATH 2 به روش دوی و لو (Dewey and Lu, 1959) تعیین شدند.

نتایج و بحث

تجزیه همبستگی

بررسی ضرایب همبستگی نشان داد که در تمام سطوح آبیاری، همبستگی عملکرد دانه با وزن خشک کل مثبت و معنی‌دار (به‌ترتیب ۰/۸۶، ۰/۸۴۷، ۰/۸۹۳ و ۰/۸۸۸ برای شرایط تأمین ۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی) و با فاصله گرده‌افشانی تا کاکل منفی و معنی‌دار (۰/۷۰۵-، ۰/۸۹۴-، ۰/۷۰۸- و ۰/۷۱۲-) بود. همچنین در شرایط تأمین ۱۲۰، ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی، همبستگی وزن صد دانه (به‌ترتیب ۰/۹۵۹، ۰/۹۴۵ و ۰/۹۸۶)، تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک (۰/۸۲، ۰/۸۷۷ و ۰/۹۲۶) و شاخص برداشت (۰/۹۳۴، ۰/۷۴۸ و ۰/۹۳۴) با عملکرد دانه مثبت و معنی‌دار بود. به علاوه با تأمین ۱۲۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، همبستگی مثبت و معنی‌دار قطر چوب بلال (۰/۷۱۷ و ۰/۹۲) و تعداد دانه در ردیف (۰/۸۸۹ و ۰/۸۸۹) با عملکرد دانه مشاهده شد. از طرفی با تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی، عمق دانه (۰/۹۴۷-) و تعداد ردیف در بلال (۰/۸۴۲-)، با تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی، ارتفاع بوته (۰/۷۴۱) و با تأمین ۱۲۰ درصد نیاز آبی، طول بلال (۰/۸۳۳) و طول دانه (۰/۷۱۹) نیز با عملکرد دانه همبستگی معنی‌دار نشان دادند. با توجه به این نتایج، اعمال تنش شدید کم آبی (تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی) نسبت به سایر سطوح آبیاری بیشترین تغییر در ارتباط و همبستگی بین صفات مورد بررسی با عملکرد دانه را در پی داشته است (جدول ۲).

بر خلاف مقدار آب، مقدار نیتروژن مصرفی همبستگی صفات مورد بررسی را با یکدیگر و با عملکرد دانه چندان تحت تأثیر قرار نداد. به طوری که در تمام سطوح نیتروژن همبستگی طول بلال (به‌ترتیب ۰/۹۱، ۰/۸۹۳، ۰/۹۳۷ و ۰/۹۰۶ برای شرایط تأمین ۴۰، ۷۰، ۱۰۰ و ۱۴۰ درصد نیاز نیتروژن)، قطر بلال (۰/۹۳۶، ۰/۸۳۸، ۰/۹۵۲ و ۰/۹۲۶)، عمق دانه (۰/۸۸۸، ۰/۷۹۶، ۰/۸۵۳ و ۰/۸۶۴)، تعداد دانه در ردیف (۰/۹۸۷، ۰/۹۶۵، ۰/۹۶۵ و ۰/۸۳۸)، تعداد دانه در بلال (۰/۹۵۲، ۰/۹۴۷، ۰/۹۵۶ و ۰/۹۲۵)، وزن صد دانه (۰/۹۴۵، ۰/۹۰۵، ۰/۸۷۵ و ۰/۸۶۳)، ارتفاع بوته (۰/۹۶۸، ۰/۹۶۵، ۰/۹۸ و ۰/۹۷۱)، طول دانه (۰/۸۷۴، ۰/۷۲ ۰/۸۵۷ و ۰/۸۱۷)، تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک (۰/۷۴۱، ۰/۷۳۹، ۰/۷۸۵ و ۰/۸۸۷)، وزن خشک کل (۰/۹۶۳، ۰/۹۷۹، ۰/۹۷۹ و ۰/۹۸۸) و شاخص برداشت (۰/۹۱۶، ۰/۹۶۸، ۰/۹۶۸ و ۰/۹۹۳) با عملکرد دانه مثبت و معنی‌دار و همبستگی فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل با عملکرد دانه (۰/۸۸۶-، ۰/۷۳۱-، ۰/۷۳۶- و ۰/۷۷-) منفی و معنی‌دار بود. همچنین همبستگی مثبت بین قطر چوب بلال و تعداد ردیف در بلال با عملکرد دانه و همبستگی منفی بین درصد چوب بلال و ضخامت دانه با عملکرد دانه در برخی از سطوح نیتروژن قابل توجه بود (جدول ۳).

در خصوص رابطه همبستگی سایر صفات با یکدیگر، همبستگی مثبت بین تعداد دانه، وزن صد دانه و وزن خشک کل با تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک، همبستگی مثبت بین تعداد دانه، وزن صد دانه و ارتفاع بوته با وزن خشک کل و همبستگی مثبت بین تعداد دانه و وزن صدانه با شاخص برداشت در بیشتر شرایط مورد بررسی مشاهده شد. همچنین همبستگی مثبت وزن صد دانه با طول دانه و عرض دانه و همبستگی منفی آن با ضخامت دانه قابل توجه بود.

رگرسیون گام به گام

مدل نهایی حاصل از تجزیه رگرسیون گام به گام می‌تواند متغیرهای مستقل مؤثر بر متغیر وابسته را شناسایی و از نظر اهمیت رتبه‌بندی نماید. در این مطالعه عملکرد دانه به‌عنوان متغیر وابسته در مقابل سایر صفات به‌عنوان متغیرهای مستقل در شرایط متفاوت آبیاری و نیتروژن مورد بررسی قرار گرفت. در مدل‌های رگرسیونی حاصل از شرایط تأمین ۱۲۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، وزن صد دانه نخستین متغیری بود که وارد مدل شد و به تنهایی به‌ترتیب ۹۱/۹ و ۸۹/۲ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمود. پس ازآن تعداد دانه در ردیف به هر دو مدل اضافه شد و به همراه وزن صد دانه برای شرایط تأمین ۱۲۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، به‌ترتیب ۹۷ و ۹۶/۶ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمودند.

جدول ۲- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در سطوح آبیاری

Table 2- Correlation coefficients between studied traits in irrigation levels

		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21
X1	$I_{120\%}$	1																				
	$I_{100\%}$	1																				
	$I_{80\%}$	1																				
	$I_{60\%}$	1																				
X2	$I_{120\%}$	0.893**	1																			
	$I_{100\%}$	0.754*	1																			
	$I_{80\%}$	0.680ns	1																			
	$I_{60\%}$	0.925**	1																			
X3	$I_{120\%}$	0.628ns	0.467ns	1																		
	$I_{100\%}$	0.365ns	0.199ns	1																		
	$I_{80\%}$	0.886**	0.734*	1																		
	$I_{60\%}$	0.590ns	0.523ns	1																		
X4	$I_{120\%}$	-0.169ns	-0.423ns	0.438ns	1																	
	$I_{100\%}$	0.133ns	-0.095ns	0.817*	1																	
	$I_{80\%}$	0.109ns	-0.239ns	0.076ns	1																	
	$I_{60\%}$	-0.431ns	-0.322ns	-0.196ns	1																	
X5	$I_{120\%}$	0.586ns	0.812*	-0.136ns	-0.763*	1																
	$I_{100\%}$	0.288ns	0.680ns	-0.532ns	-0.733*	1																
	$I_{80\%}$	0.258ns	0.837**	0.242ns	-0.403ns	1																
	$I_{60\%}$	0.189ns	0.289ns	-0.353ns	0.181ns	1																
X6	$I_{120\%}$	0.383ns	0.538ns	-0.267ns	-0.430ns	0.779*	1															
	$I_{100\%}$	0.249ns	0.623ns	-0.510ns	-0.664ns	0.916**	1															
	$I_{80\%}$	-0.275ns	0.452ns	0.020ns	-0.364ns	0.629ns	1															
	$I_{60\%}$	0.448ns	0.469ns	-0.229ns	-0.168ns	0.911**	1															
X7	$I_{120\%}$	0.851**	0.694ns	0.879**	0.058ns	0.198ns	-0.060ns	1														
	$I_{100\%}$	0.503ns	0.197ns	0.585ns	0.502ns	-0.174ns	-0.190ns	1														
	$I_{80\%}$	0.553ns	0.750*	0.665ns	-0.631ns	0.536ns	0.258ns	1														
	$I_{60\%}$	0.313ns	0.521ns	-0.212ns	-0.437ns	0.352ns	0.404ns	1														
X8	$I_{120\%}$	0.913**	0.888**	0.628ns	-0.110ns	0.580ns	0.524ns	0.803ns	1													
	$I_{100\%}$	0.905**	0.717*	0.232ns	0.152ns	0.355ns	0.407ns	0.584ns	1													
	$I_{80\%}$	0.631ns	0.439ns	0.537ns	-0.117ns	0.194ns	-0.402ns	0.655ns	1													
	$I_{60\%}$	0.562ns	0.542ns	-0.272ns	-0.492ns	0.444ns	0.710*	0.568ns	1													
X9	$I_{120\%}$	0.771**	0.645ns	0.872**	0.241ns	-0.147ns	-0.114ns	0.875**	0.717*	1												
	$I_{100\%}$	0.617ns	0.279ns	0.857**	0.823*	-0.432ns	-0.464ns	0.751*	0.537ns	1												
	$I_{80\%}$	0.424ns	0.033ns	0.237ns	0.053ns	-0.144ns	-0.556ns	0.130ns	0.563ns	1												
	$I_{60\%}$	0.574ns	0.569ns	0.576ns	-0.385ns	-0.383ns	-0.277ns	0.399ns	0.013ns	1												
X10	$I_{120\%}$	0.600ns	0.796*	-0.121ns	-0.792*	0.972**	0.686ns	0.212ns	0.519ns	-0.183ns	1											
	$I_{100\%}$	0.617ns	0.640ns	0.633ns	0.359ns	0.127ns	0.184ns	0.560ns	0.564ns	0.638ns	1											
	$I_{80\%}$	0.741*	0.331ns	0.542ns	0.064ns	0.036ns	-0.609ns	0.473ns	0.926**	0.645ns	1											
	$I_{60\%}$	-0.228ns	-0.243ns	0.039ns	-0.241ns	-0.371ns	-0.227ns	-0.207ns	0.023ns	0.380ns	1											
X11	$I_{120\%}$	0.290ns	0.107ns	0.897**	0.627ns	-0.471ns	-0.505ns	0.698ns	0.357ns	0.657ns	-0.501ns	1										
	$I_{100\%}$	-0.166ns	-0.193ns	0.754*	0.769*	-0.589ns	-0.600ns	0.600ns	-0.134ns	0.594ns	0.334ns	1										
	$I_{80\%}$	0.793*	0.598ns	0.794*	-0.222ns	0.215ns	-0.240ns	0.835**	0.899**	0.409ns	0.843**	1										
	$I_{60\%}$	0.538ns	0.404ns	0.745*	-0.420ns	-0.394ns	-0.195ns	-0.034ns	0.005ns	0.502ns	0.389ns	1										
X12	$I_{120\%}$	0.251ns	-0.031ns	0.721*	0.702ns	-0.511ns	-0.625ns	0.563ns	0.164ns	0.659ns	-0.508ns	0.824*	1									
	$I_{100\%}$	-0.330ns	-0.522ns	0.665ns	0.671ns	-0.812*	-0.828*	0.424ns	-0.396ns	0.454ns	0.064ns	0.891**	1									
	$I_{80\%}$	0.862**	0.659ns	0.898**	0.062ns	0.219ns	-0.187ns	0.707*	0.785*	0.225ns	0.764*	0.927**	1									
	$I_{60\%}$	0.341ns	0.468ns	0.643ns	-0.039ns	-0.572ns	-0.521ns	0.104ns	-0.193ns	0.683ns	0.039ns	0.405ns	1									
X13	$I_{120\%}$	0.158ns	0.328ns	-0.195ns	-0.270ns	0.497ns	0.490ns	-0.241ns	0.063ns	-0.026ns	0.588ns	-0.534ns	-0.509ns	1								
	$I_{100\%}$	0.371ns	0.547ns	-0.440ns	-0.574ns	0.674ns	0.773*	-0.433ns	0.403ns	-0.405ns	-0.071ns	-0.814*	-0.872**	1								
	$I_{80\%}$	-0.687ns	-0.495ns	-0.633ns	0.272ns	-0.198ns	0.307ns	-0.783*	-0.947**	-0.504ns	-0.902**	-0.962**	-0.823*	1								
	$I_{60\%}$	-0.601ns	-0.565ns	-0.678ns	0.484ns	0.357ns	0.140ns	-0.227ns	-0.173ns	-0.585ns	-0.402ns	-0.943**	-0.552ns	1								
X14	$I_{120\%}$	-0.115ns	-0.406ns	0.607ns	0.846**	-0.855**	-0.696ns	0.312ns	-0.088ns	0.318ns	-0.848**	0.839**	0.787*	-0.577ns	1							
	$I_{100\%}$	-0.206ns	-0.251ns	0.786*	0.767*	-0.667ns	-0.682ns	0.501ns	-0.243ns	0.577ns	0.321ns	0.981**	0.934**	-0.836**	1							
	$I_{80\%}$	0.857**	0.552ns	0.786*	0.115ns	0.156ns	-0.406ns	0.597ns	0.909**	0.559ns	0.910**	0.910**	0.902**	-0.873**	1							
	$I_{60\%}$	0.432ns	0.356ns	0.885**	-0.257ns	-0.503ns	-0.376ns	-0.168ns	-0.269ns	0.520ns	0.355ns	0.935**	0.589ns	-0.873**	1							
X15	$I_{120\%}$	-0.134ns	-0.406ns	0.605ns	0.859**	-0.854**	-0.682ns	0.295ns	-0.086ns	0.310ns	-0.858**	0.847**	0.782*	-0.578ns	0.998**	1						
	$I_{100\%}$	-0.184ns	-0.263ns	0.791*	0.790*	-0.687ns	-0.690ns	0.540ns	-0.205ns	0.603ns	0.319ns	0.986**	0.939**	-0.837**	0.998**	1						
	$I_{80\%}$	0.889**	0.550ns	0.846**	0.096ns	0.105ns	-0.392ns	0.630ns	0.873**	0.541ns	0.891**	0.937**	0.940**	-0.879**	0.987**	1						
	$I_{60\%}$	0.428ns	0.353ns	0.880**	-0.264ns	-0.535ns	-0.412ns	-0.143ns	-0.279ns	0.571ns	0.320ns	0.932**	0.616ns	-0.875**	0.997**	1						
X16	$I_{120\%}$	-0.188ns	-0.440ns	0.570ns	0.856**	-0.869**	-0.667ns	0.245ns	-0.117ns	0.250ns	-0.881**	0.829*	0.733*	-0.574ns	0.991**	0.996**	1					
	$I_{100\%}$	-0.294ns	-0.289ns	0.750*	0.743*	-0.677ns	-0.683ns	0.392ns	-0.338ns	0.503ns	0.277ns	0.959**	0.928**	-0.825*	0.992**	0.984**	1					
	$I_{80\%}$	0.871**	0.578ns	0.829*	0.061ns	0.158ns	-0.360ns	0.666ns	0.901**	0.492ns	0.902**	0.954**	0.954**	-0.906**	0.985**	0.995**	1					
	$I_{60\%}$	0.431ns	0.393ns	0.867**	-0.259ns	-0.525ns	-0.391ns	-0.112ns	-0.227ns	0.523ns	0.406ns	0.916**	0.667ns	-0.896**	0.990**	0.987**	1					
X17	$I_{120\%}$	-0.635ns	-0.393ns	-0.416ns	-0.047ns	-0.164ns	0.190ns	-0.596ns	-0.365ns	-0.703ns	-0.253ns	-0.224ns	-0.594ns	0.057ns	-0.094ns	-0.056ns	0.029ns	1				
	$I_{100\%}$	-0.367ns	0.034ns	-0.628ns	-0.652ns	0.434ns	0.421ns	-0.948**	-0.457ns	-0.772*	-0.367ns	-0.676ns	-0.582ns	0.529ns	-0.592ns	-0.639ns	-0.491ns	1				
	$I_{80\%}$	-0.894**	-0.470ns	-0.852**	-0.170ns	0.014ns	0.447ns	-0.529ns	-0.779*	-0.628ns	-0.834*	-0.863**	-0.872**	0.787*	-0.955**	-0.974**	-0.945**	1				
	$I_{60\%}$	-0.389ns	-0.247ns	-0.836**	0.254ns	0.515ns	0.424ns	0.194ns	0.362ns	-0.622ns	-0.124ns	-0.893**	-0.466ns	0.767*	-0.936**	-0.949**	-0.886**	1				
X18	$I_{120\%}$	0.445ns	0.102ns	0.812*	0.712*	-0.422ns	-0.426ns	0.678ns	0.369ns	0.768*	-0.393ns	0.809*	0.917**	-0.351ns	0.776*	0.760*	0.707*	-0.629ns	1			
	$I_{100\%}$	0.310ns	0.040ns	0.869**	0.851**	-0.547ns	0.548ns	0.848**	0.311ns	0.893**	0.566ns	0.860**	0.726*	-0.664ns	0.825*	0.851**	0.757*	-0.891**	1			
	$I_{80\%}$	0.712*	0.257ns	0.591ns	0.082ns	-0.109ns	-0.593ns	0.408ns	0.799*	0.872**	0.843**	0.750*	0.642ns	-0.755*	0.885**	0.862**	0.824*	-0.910**	1			
	$I_{60\%}$	0.427ns	0.415ns	0.891**	-0.236ns	-0.515ns	-0.424ns	-0.042ns	-0.306ns	0.638ns	0.248ns	0.873**	0.713ns	-0.858**	0.975**	0.983**	0.979**	-0.914**	1			
X19	$I_{120\%}$	0.833*	0.632ns	0.920**	0.266ns	0.101ns	-0.114ns	0.948**	0.750*	0.959**	0.135ns	0.719*	0.693ns	0.113ns	0.397ns	0.381ns	0.322ns	-0.716*	0.820*	1		
	$I_{100\%}$	0.662ns	0.252ns	0.717*	0.687ns	-0.327ns	-0.385ns	0.889**	0.637ns	0.945**	0.547ns	0.532ns	0.397ns	-0.385ns	0.475ns	0.512ns	0.37ns	-0.894**	0.877**	1		
	$I_{80\%}$	0.510ns	0.070ns	0.300ns	0.077ns	-0.142ns	-0.634ns	0.179ns	0.657ns	0.986**	0.741*	0.504ns	0.337ns	-0.586ns	0.693ns	0.637ns	0.593ns	-0.708*	0.926**	1		
	$I_{60\%}$	-0.013ns	-0.120ns	0.495ns	-0.317ns	-0.947**	-0.842**	-0.187ns	-0.412ns	0.598ns	0.267ns	0.578ns	0.604ns	-0.538ns	0.655ns	0.695ns	0.659ns	-0.712*	0.682ns	1		
X20	$I_{120\%}$	0.947**	0.814*	0.624ns	-0.108ns	0.500ns	0.179ns	0.832*	0.779*	0.820*	0.533ns	0.314ns	0.428ns	0.105ns	-0.063ns	-0.085ns	-0.155ns	-0.817*	0.532ns	0.860**	1	
	$I_{100\%}$	0.849**	0.404ns	0.468ns	0.495ns	-0.141ns	-0.179ns	0.590ns	0.785*	0.823*	0.476ns	0.061ns	-0.044ns	0.008ns	0.026ns	0.063ns	-0.063ns	-0.580ns	0.541ns	0.847**	1	
	$I_{80\%}$	0.148ns	-0.294ns	-0.066ns	-0.068ns	-0.367ns	-0.679ns	0.007ns	0.485ns	0.908**	0.572ns	0.280ns	0.019ns	-0.441ns	0.390ns	0.340ns	0.303ns	-0.407ns	0.726*	0.893**	1	
	$I_{60\%}$	0.250ns	0.261ns	0.580ns	-0.472ns	-0.773*	-0.623ns	0.195ns	-0.157ns	0.760*	0.265ns	0.662ns	0.786**	-0.751*	0.722ns	0.759*	0.765*	-0.688ns	0.798*	0.888**	1	
X21	$I_{120\%}$	0.676ns	0.496ns	0.958**	0.295ns	-0.076ns	-0.335ns	0.897**	0.556ns	0.874**	-0.006ns	0.779*	0.691ns	0.112ns	0.518ns	0.501ns	0.454ns	-0.554ns	0.777*	0.934**	-0.710*	1
	$I_{100\%}$	0.148ns	-0.061ns	0.715*	0.600ns	-0.424ns	-0.480ns	0.873**	0.159ns	0.677ns	0.415ns	0.870**	0.780*	-0.714*	0.820*	0.841**	0.746*	-0.888**	0.905**	0.748*	0.284ns	1
	$I_{80\%}$	0.720*	0.346ns	0.535ns	0.185ns	0.064ns	-0.525ns	0.295ns	0.731*	0.892**	0.794*	0.625ns	0.557ns	-0.638ns	0.848**	0.791*	0.754*	-0.843**	0.947**	0.934**	0.676ns	1
	$I_{60\%}$	-0.465ns	-0.683ns	-0.431ns	0.406ns	0.127ns	0.010ns	-0.651ns	-0.248ns	-0.564ns	-0.215ns	-0.463ns	-0.700ns	0.711*	-0.494ns	-0.504ns	-0.585ns	0.304ns	-0.610ns	-0.263ns	-0.673ns	1

* and ** significant at 5% and 1% levels, respectively.

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح پنج درصد و یک درصد.

X1: طول بلال، X2: قطر بلال، X3: قطر چوب بلال، X4: درصد چوب بلال، X5: عمق دانه، X6: تعداد ردیف در بلال، X7: تعداد دانه در ردیف، X8: تعداد دانه در بلال، X9: وزن صد دانه، X10: ارتفاع بوته، X11: طول دانه، X12: عرض دانه، X13: ضخامت دانه، X14: کاشت تا ظهور گل‌تاجی، X15: کاشت تا گرده‌افشانی، X16: کاشت تا ظهور کاکل، X17: فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل، X18: کاشت تا رسیدن فیزیولوژیک، X19: عملکرد دانه، X20: وزن خشک کل، X21: شاخص برداشت.

X1: Ear length, X2: Ear diameter, X3: Cob diameter, X4: Cob percent, X5: Grain depth, X6: Row.ear^{-1}, X7: Grain.row^{-1}, X8: Grain.ear^{-1}, X9: 100 grain weight, X10: Plant height, X11: Grain length, X12: Grain width, X13: Grain thickness, X14: Planting to tasseling, X15: Planting to anthesis, X16:Planting to silking, X17: Anthesis to silking, X18: Planting to physiological maturity, X19: Grain yield, X20: Total dry weight, X21: Harvest index.

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در سطوح نیتروژن

Table 3- Correlation coefficients between studied traits in nitrogen levels

		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21
X1	$N_{40\%}$	1																				
	$N_{70\%}$	1																				
	$N_{100\%}$	1																				
	$N_{140\%}$	1																				
X2	$N_{40\%}$	0.953**	1																			
	$N_{70\%}$	0.901**	1																			
	$N_{100\%}$	0.991**	1																			
	$N_{140\%}$	0.982**	1																			
X3	$N_{40\%}$	0.818*	0.749*	1																		
	$N_{70\%}$	0.873**	0.873**	1																		
	$N_{100\%}$	0.904**	0.874**	1																		
	$N_{140\%}$	0.740ns	0.708*	1																		
X4	$N_{40\%}$	-0.658ns	-0.724*	-0.330ns	1																	
	$N_{70\%}$	-0.704ns	-0.732*	-0.408ns	1																	
	$N_{100\%}$	-0.863**	-0.855**	-0.668ns	1																	
	$N_{140\%}$	-0.691ns	-0.668ns	-0.443ns	1																	
X5	$N_{40\%}$	0.769*	0.831*	0.342ns	-0.673ns	1																
	$N_{70\%}$	0.837**	0.974**	0.739*	-0.819*	1																
	$N_{100\%}$	0.953**	0.978**	0.753*	-.871**	1																
	$N_{140\%}$	0.876**	0.918**	0.369ns	-0.639ns	1																
X6	$N_{40\%}$	0.828*	0.872**	0.386ns	-0.765*	0.948**	1															
	$N_{70\%}$	0.640ns	0.818*	0.469ns	-0.747*	0.911**	1															
	$N_{100\%}$	0.885**	0.924**	0.668ns	-0.852**	0.963**	1															
	$N_{140\%}$	0.885**	0.925**	0.417ns	-0.715*	0.982**	1															
X7	$N_{40\%}$	0.930**	0.926**	0.658ns	-0.818*	0.865**	0.898**	1														
	$N_{70\%}$	0.940**	0.881**	0.834**	-0.765*	0.828**	0.584ns	1														
	$N_{100\%}$	0.952**	0.969**	0.881**	-0.860**	0.933**	0.915**	1														
	$N_{140\%}$	0.947**	0.958**	0.572ns	-0.743*	0.939**	0.969**	1														
X8	$N_{40\%}$	0.926**	0.905**	0.581ns	-.0807*	0.895**	0.922**	0.974**	1													
	$N_{70\%}$	0.970**	0.854**	0.771*	-0.787*	0.820*	0.624ns	0.965**	1													
	$N_{100\%}$	0.957**	0.974**	0.869**	-0.864**	0.945**	0.929**	0.997**	1													
	$N_{140\%}$	0.984**	0.982**	0.633ns	-0.683ns	0.936**	0.937**	0.967**	1													
X9	$N_{40\%}$	0.937**	0.940**	0.855**	-0.682ns	0.732*	0.735*	0.931**	0.877**	1												
	$N_{70\%}$	0.914**	0.806**	0.879**	-0.516ns	0.704ns	0.453ns	0.937**	0.912**	1												
	$N_{100\%}$	0.877**	0.835**	0.949**	-0.740*	0.722*	0.660ns	0.841**	0.827*	1												
	$N_{140\%}$	0.844**	0.845**	0.884**	-0.295ns	0.615ns	0.605ns	0.714ns	0.785*	1												
X10	$N_{40\%}$	0.907**	0.945**	0.613ns	-0.861**	0.885**	0.897**	0.972**	0.969**	0.919**	1											
	$N_{70\%}$	0.945**	0.866**	0.755*	-0.813**	0.844**	0.631ns	0.947**	0.984**	0.872**	1											
	$N_{100\%}$	0.956**	0.959**	0.843**	-0.924**	0.936**	0.908**	0.962**	0.952**	0.867**	1											
	$N_{140\%}$	0.946**	0.971**	0.610ns	-0.529ns	0.934**	0.901**	0.904**	0.966**	0.830*	1											
X11	$N_{40\%}$	0.795*	0.862**	0.756*	-0.682ns	0.677ns	0.616ns	0.835**	0.776*	0.944**	0.879**	1										
	$N_{70\%}$	0.679ns	0.607ns	0.848**	-0.266ns	0.443ns	0.048ns	0.715*	0.628ns	0.754*	0.650ns	1										
	$N_{100\%}$	0.838**	0.794*	0.923**	-0.742*	0.79ns	0.630ns	0.820*	0.804*	0.994**	0.851**	1										
	$N_{140\%}$	0.854**	0.873**	0.918**	-0.492ns	0.632ns	0.681ns	0.771*	0.797*	0.936**	0.796**	1										
X12	$N_{40\%}$	0.670ns	0.757*	0.829*	-0.545ns	0.386ns	0.403ns	0.659ns	0.527ns	0.845**	0.675ns	0.886**	1									
	$N_{70\%}$	0.607ns	0.603ns	0.827*	-0.190ns	0.448ns	0.069ns	0.679ns	0.567ns	0.755*	0.601ns	0.926**	1									
	$N_{100\%}$	0.432ns	0.456ns	0.686ns	-0.060ns	0.322ns	0.251ns	0.508ns	0.476ns	0.552ns	0.390ns	0.523ns	1									
	$N_{140\%}$	0.806*	0.785*	0.977**	-0.579ns	0.483ns	0.525ns	0.660ns	0.709*	0.870**	0.684ns	0.918**	1									
X13	$N_{40\%}$	-0.683ns	-0.770*	-0.656ns	0.726*	-0.554ns	-0.509ns	-0.718*	-0.679ns	-0.829*	-0.817*	-0.943**	-0.845**	1								
	$N_{70\%}$	-0.491ns	-0.447ns	-0.783*	-0.030ns	-0.252ns	0.131ns	-0.525ns	-0.410ns	-0.647ns	-0.427ns	-0.945**	-0.944**	1								
	$N_{100\%}$	-0.660ns	-0.617ns	-0.698ns	0.713*	-0.535ns	-0.499ns	-0.636ns	-0.611ns	-0.879**	-0.756*	-0.908**	-0.320ns	1								
	$N_{140\%}$	-0.798*	-0.826**	-0.904**	0.533ns	-0.578ns	-0.642ns	-0.728*	-0.724*	-0.874**	-0.722*	-0.976**	-0.923**	1								
X14	$N_{40\%}$	-0.196ns	-0.187ns	0.280ns	0.221ns	-0.409ns	-0.559ns	-0.192ns	-0.294ns	0.095ns	-0.171ns	0.293ns	0.405ns	-0.325ns	1							
	$N_{70\%}$	-0.262ns	-0.333ns	0.136ns	0.687ns	-0.523ns	-0.754*	-0.220ns	-0.357ns	-0.035ns	-0.376ns	0.420ns	0.446ns	-0.645ns	1							
	$N_{100\%}$	-0.237ns	-0.299ns	0.161ns	0.427ns	-0.473ns	-0.533ns	-0.254ns	0.286ns	0.212ns	-0.267ns	0.242ns	0.468ns	-0.264ns	1							
	$N_{140\%}$	-0.172ns	-0.188ns	0.470ns	0.369ns	-0.512ns	-0.455ns	-0.284ns	-0.282ns	0.291ns	-0.276ns	0.276ns	0.315ns	-0.282ns	1							
X15	$N_{40\%}$	-0.028ns	-0.001ns	0.434ns	0.069ns	-0.280ns	-0.403ns	-0.015ns	-0.146ns	0.274ns	-0.004ns	0.453ns	0.590ns	-0.463ns	0.975**	1						
	$N_{70\%}$	-0.130ns	-0.196ns	0.271ns	0.610ns	-0.396ns	-0.670ns	-0.080ns	-0.219ns	0.120ns	-0.231ns	0.541ns	0.590ns	-0.758*	0.983**	1						
	$N_{100\%}$	-0.105ns	-0.163ns	0.281ns	0.272ns	-0.341ns	-0.391ns	-0.102ns	-0.139ns	0.356ns	-0.102ns	0.392ns	0.535ns	-0.426ns	0.981**	1						
	$N_{140\%}$	-0.011ns	-0.010ns	0.614ns	0.218ns	-0.358ns	-0.293ns	-0.129ns	-0.116ns	0.427ns	-0.108ns	0.449ns	0.478ns	-0.452ns	0.972**	1						
X16	$N_{40\%}$	-0.301ns	-0.271ns	0.202ns	0.266ns	-0.510ns	-0.632ns	-0.288ns	-0.406ns	-0.004ns	-0.272ns	0.195ns	0.370ns	-0.234ns	0.985**	0.959**	1					
	$N_{70\%}$	-0.404ns	-0.432ns	0.004ns	0.746*	-0.598ns	-0.793*	-0.340ns	-0.483ns	-0.163ns	-0.489ns	0.299ns	0.366ns	-0.550ns	0.984**	0.956**	1					
	$N_{100\%}$	-0.414ns	-0.459ns	-0.026ns	0.593ns	-0.610ns	-0.623ns	-0.403ns	-0.430ns	0.023ns	-0.436ns	0.056ns	0.387ns	-0.090ns	0.969**	0.928**	1					
	$N_{140\%}$	-0.330ns	-0.329ns	0.294ns	0.440ns	-0.598ns	-0.541ns	-0.389ns	-0.417ns	0.121ns	-0.414ns	0.113ns	0.144ns	-0.125ns	0.973**	0.926**	1					
X17	$N_{40\%}$	-0.872**	-0.872**	-0.861**	0.618ns	-0.666ns	-0.631ns	-0.873**	-0.797*	-0.970**	-0.862**	-0.949**	-0.866**	0.859**	-0.228ns	-0.400ns	-0.122ns	1				
	$N_{70\%}$	-0.771*	-0.633ns	-0.893**	0.187ns	-0.458ns	-0.128ns	-0.746*	-0.709*	-0.885**	-0.688ns	-0.916**	-0.879**	0.891**	-0.348ns	-0.488ns	-0.211ns	1				
	$N_{100\%}$	-0.708*	-0.661ns	-0.810*	0.690ns	-0.547ns	-0.444ns	-0.692ns	-0.657ns	-0.895**	-0.769*	-0.913**	-0.502ns	0.921**	-0.305ns	-0.453ns	-0.087ns	1				
	$N_{140\%}$	-0.793*	-0.793*	-0.888**	0.519ns	-0.544ns	-0.574ns	-0.627ns	-0.731*	-0.824*	-0.747*	-0.900**	-0.901**	0.879**	-0.140ns	-0.331ns	0.051ns	1				
X18	$N_{40\%}$	0.666ns	0.673ns	0.824*	-0.495ns	0.395ns	0.358ns	0.705ns	0.589ns	0.869**	0.667ns	0.890**	0.905**	-0.778**	0.524ns	0.680ns	0.457ns	-0.897**	1			
	$N_{70\%}$	0.674ns	0.631ns	0.881**	-0.229ns	0.461ns	0.079ns	0.743*	0.622ns	0.811*	0.624ns	0.962**	0.971**	-0.952**	0.457ns	0.588ns	0.349ns	-0922**	1			
	$N_{100\%}$	0.709*	0.668ns	0.853**	-0.575ns	0.538ns	0.505ns	0.699ns	0.673ns	0.951**	0.741*	0.962**	0.603ns	-0.915**	0.425ns	0.571ns	0.267ns	-0.885**	1			
	$N_{140\%}$	0.837**	0.835**	0.875**	-0.273ns	0.607ns	0.603ns	0.702ns	0.788*	0.989**	0.827*	0.935**	0.842**	-0.854**	0.290ns	0.430ns	0.116ns	-0.844**	1			
X19	$N_{40\%}$	0.910**	0.936**	0.658ns	-0.774*	0.888**	0.887**	0.987**	0.952**	0.945**	0.968**	0.874**	0.696ns	-0.735*	-0.131ns	0.046ns	-0.225ns	-0.886**	0.741*	1		
	$N_{70\%}$	0.893**	0.838**	0.774*	-0.756*	0.796*	0.530ns	0.965**	0.947**	0.905**	0.965**	0.720*	0.731*	-0.539ns	-0.225ns	0.069ns	-0.322ns	-0.731*	0.739*	1		
	$N_{100\%}$	0.937**	0.952**	0.854**	-0.853**	0.922**	0.918**	0.965**	0.956**	0.875**	0.980**	0.857**	0.496ns	-0.749*	-0.193ns	-0.025ns	-0.336ns	-0.736*	0.785*	1		
	$N_{140\%}$	0.906**	0.926**	0.631ns	-0.389ns	0.864**	0.832*	0.838**	0.925**	0.863**	0.971**	0.817*	0.657ns	-0.715*	-0.163ns	-0.005ns	-0.315ns	-0.770*	0.887**	1		
X20	$N_{40\%}$	0.955**	0.983**	0.724*	-0.769*	0.831*	0.895**	0.961**	0.933**	0.940**	0.951**	0.835**	0.729*	-0.718*	-0.222ns	-0.031ns	-0.298ns	-0.851**	0.689ns	0.963**	1	
	$N_{70\%}$	0.873**	0.891**	0.773*	-0.806*	0.870**	0.620ns	0.939**	0.914**	0.837**	0.955**	0.696ns	0.712*	-0.506ns	-0.288ns	0.134ns	-0.372ns	-0.661ns	0.702ns	0.979**	1	
	$N_{100\%}$	0.911**	0.918**	0.779*	-0.903**	0.907**	0.917**	0.918**	0.913**	0.854**	0.976**	0.844**	0.331ns	-0.797*	-0.249ns	-0.076ns	-0.389ns	-0.727*	0.768*	0.979**	1	
	$N_{140\%}$	0.856**	0.881**	0.554ns	-0.324ns	0.847**	0.793*	0.774*	0.886**	0.811*	0.958**	0.741*	0.586ns	-0.634ns	-0.239ns	-0.085ns	-0.387ns	-0.739*	0.838**	0.988**	1	
X21	$N_{40\%}$	0.714*	0.748*	0.464ns	-0.634ns	0.872**	0.764*	0.876**	0.833*	0.816*	0.847**	0.806*	0.554ns	-0.640ns	0.001ns	0.136ns	-0.103ns	-0.808*	0.700ns	0.916**	0.777*	1
	$N_{70\%}$	0.848**	0.696ns	0.688ns	-0.680ns	0.641ns	0.364ns	0.931**	0.929**	0.902**	0.926**	0.703ns	0.691ns	-0.526ns	-0.156ns	-0.010ns	-0.261ns	-0.743*	0.716ns	0.968**	0.901**	1
	$N_{100\%}$	0.923**	0.949**	0.886**	-0.728*	0.903**	0.878**	0.956**	0.946**	0.840**	0.925**	0.805*	0.662ns	-0.630ns	-0.135ns	0.013ns	-0.268ns	-0.676ns	0.748*	0.968**	0.901**	1
	$N_{140\%}$	0.907**	0.923**	0.692ns	-0.371ns	0.824*	0.806*	0.832*	0.911**	0.904**	0.951**	0.865**	0.702ns	-0.770*	0.060ns	0.094ns	-0.220ns	-0.795*	0.928*	0.993**	0.968**	1

* and ** significant at 5% and 1% levels, respectively.

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح پنج درصد و یک درصد.

X1: طول بلال، X2: قطر بلال، X3: قطر چوب بلال، X4: درصد چوب بلال، X5: عمق دانه، X6: تعداد ردیف در بلال، X7: تعداد دانه در ردیف، X8: تعداد دانه در بلال، X9: وزن صد دانه، X10: ارتفاع بوته، X11: طول دانه، X12: عرض دانه، X13: ضخامت دانه، X14: کاشت تا ظهور گل‌تاجی، X15: کاشت تا گرده‌افشانی، X16: کاشت تا ظهور کاکل، X17: فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل، X18: کاشت تا رسیدن فیزیولوژیک، X19: عملکرد دانه، X20: وزن خشک کل، X21: شاخص برداشت.

X1: Ear length, X2: Ear diameter, X3: Cob diameter, X4: Cob percent, X5: Grain depth, X6: Row.ear^{-1}, X7: Grain.row^{-1}, X8: Grain.ear^{-1}, X9: 100 grain weight, X10: Plant height, X11: Grain length, X12: Grain width, X13: Grain thickness, X14: Planting to tasseling, X15: Planting to anthesis, X16:Planting to silking, X17: Anthesis to silking, X18: Planting to physiological maturity, X19: Grain yield, X20: Total dry weight, X21: Harvest index.

در شرایط تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی نیز وزن صد دانه اولین صفتی بود که وارد مدل رگرسیونی شد و به همراه ارتفاع بوته ۹۹/۲ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه کردند. در شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی، صفات عمق دانه، فاصله گرده‌افشانی تا کاکل، تعداد دانه در ردیف و تعداد روز تا گرده‌افشانی به‌ترتیب اهمیت وارد مدل رگرسیونی شدند و مجموع ضریب تبیین اصلاح شده آن‌ها ۱/۰۰ بود. به عبارت دیگر، صد در صد تغییرات عملکرد دانه بر اساس این صفات قابل توجیه است (جدول ۴). در رابطه با سطوح نیتروژن، در شرایط تأمین ۴۰ درصد نیاز گیاه، فقط صفت تعداد دانه در ردیف با ضریب تبیین ۹۷/۴ درصد وارد مدل گردید. یعنی تعداد دانه در ردیف به تنهایی بیش از ۹۷ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کرده است. در حالی که با تأمین ۷۰ درصد نیاز نیتروژن، صفات وزن خشک کل، شاخص برداشت و وزن صد دانه به‌ترتیب اهمیت وارد مدل رگرسیونی شدند. این مدل با ضریب تبیین ۱/۰۰، تمام تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمود. در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز نیتروژن، صفات شاخص برداشت و وزن خشک کل در مجموع ۹۹/۸ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند. با تأمین ۱۴۰ درصد نیاز نیتروژن نیز ابتدا صفات شاخص برداشت و وزن خشک کل وارد مدل رگرسیونی شدند و در گام آخر با ورود صفت تعداد دانه در ردیف به مدل، صد در صد تغییرات عملکرد دانه توجیه شد (جدول ۴).

تجزیه علیت

اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات وارد شده به مدل‌های رگرسیونی بر عملکرد دانه در هریک از شرایط آبیاری و نیتروژن بر اساس ضرایب همبستگی فنوتیپی با استفاده از تجزیه علیت، محاسبه شد. براساس نتایج، در شرایط تأمین ۱۲۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی اثر مستقیم صفت وزن صد دانه نسبتاً بالا (به‌ترتیب ۰/۵۵۱ و ۰/۶۳۵) و اثر غیر مستقیم آن از طریق تعداد دانه در ردیف متوسط (۰/۴۰۷ و ۰/۳۱) بود. همچنین اثر مستقیم تعداد دانه در ردیف (۰/۴۶۶ و ۰/۴۱۲) و اثر غیرمستقیم آن از طریق وزن صد دانه (۰/۴۸۲ و ۰/۴۷۷) نیز متوسط بودند. در شرایط تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی، اثر مستقیم وزن صد دانه بالا (۰/۸۷۱) و اثر غیرمستقیم آن از طریق ارتفاع بوته ناچیز (۰/۱۱۵) بود. از طرفی اثر مستقیم ارتفاع بوته ناچیز (۰/۱۷۹) و اثر غیرمستقیم آن از طریق وزن صد دانه نسبتاً بالا (۰/۵۶۴) بود. در شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی، اثرات مستقیم عمق دانه و فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل (به‌ترتیب ۰/۸۷۴- و ۰/۵۷۸-) مشابه با ضرایب همبستگی آن‌ها با عملکرد دانه، منفی و بالا بود. اثر غیر مستقیم عمق دانه از طریق فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل (۰/۲۹۸-) و اثر غیر مستقیم فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل از طریق عمق دانه (۰/۴۵۱-) نیز قابل توجه و اثر غیر مستقیم آن‌ها از طریق سایر صفات کمتر بود. اثر مستقیم تعداد دانه در ردیف (۰/۱۹۱) ناچیز و مثبت بود، اما اثر غیر مستقیم متوسط و منفی آن از طریق عمق دانه (۰/۳۰۸-) باعث ایجاد همبستگی منفی این صفت با عملکرد دانه شد. علی‌رغم اثر مستقیم منفی تعداد روز تا گرده‌افشانی (۰/۲۹۵-)، اثرات غیر مستقیم بالا و مثبت آن از طریق عمق دانه و فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل (به‌ترتیب ۰/۴۶۸ و ۰/۵۴۹) همبستگی مثبت این صفت با عملکرد دانه را موجب شد (جدول ۵).

در رابطه با سطوح نیتروژن، نتایج تجزیه علیت نشان می‌دهد که در شرایط تأمین ۴۰ درصد نیاز گیاه گزینش مثبت صفت تعداد دانه در ردیف مطلوب است. با تأمین ۷۰ درصد نیاز نیتروژن، اثرات مستقیم وزن خشک کل نسبتاً بالا (۰/۵۵۹)، شاخص برداشت متوسط (۰/۳۷۷) و وزن صد دانه ناچیز (۰/۰۹۶) بود. اثر غیر مستقیم وزن خشک کل از طریق شاخص برداشت (۰/۳۳۹)، اثر غیر مستقیم شاخص برداشت از طریق وزن خشک کل (۰/۵۰۳) و اثرات غیر مستقیم وزن صد دانه از طریق وزن خشک کل و شاخص برداشت (به‌ترتیب ۰/۴۶۷ و ۰/۳۴) نیز قابل‌توجه بودند. در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز نیتروژن اثرات مستقیم شاخص برداشت و وزن خشک کل نسبتاً بالا (به‌ترتیب ۰/۵۲ و ۰/۵۱۵) و اثرات غیر مستقیم آن‌ها از طریق یکدیگر متوسط (۰/۴۴۳ و ۰/۴۴۸) بود. در شرایط تأمین ۱۴۰ درصد نیاز نیتروژن، نیز اثرات مستقیم شاخص برداشت و وزن خشک کل متوسط (به‌ترتیب ۰/۴۵۸ و ۰/۴۷۷) بود. اثرات غیر مستقیم این صفات از طریق یکدیگر نیز متوسط (۰/۴۶۱ و ۰/۴۴۳) و اثر غیر مستقیم آن‌ها از طریق تعداد دانه در ردیف ناچیز (۰/۰۷۳ و ۰/۰۶۸) بود. از طرفی با وجود اثر مستقیم ناچیز تعداد دانه در ردیف (۰/۰۸۸)، اثرات غیر مستقیم آن از طریق شاخص برداشت و وزن خشک کل (به‌ترتیب ۰/۳۸۱ و ۰/۳۶۹) منجر به ایجاد همبستگی مثبت و معنی‌دار این صفت با عملکرد دانه شد (جدول ۵).

تجزیه همبستگی

مقایسه همبستگی صفات با عملکرد دانه در سطوح مختلف آبیاری نشان داد که همبستگی‌ها با هم متفاوت هستند. به عبارت دیگر مقدار آب بر ارتباط بین صفات تأثیر گذاشته است. همبستگی‌ها در تنش شدید کم آبی (تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی) کمتر از سایر سطوح آبیاری بود. بنابراین اثر آب بر همبستگی‌ها بارز بوده است. در کل با توجه به نتایج تجزیه همبستگی، در تمام شرایط آبیاری بیشتر بودن وزن خشک کل و فاصله کمتر بین گرده‌افشانی و ظهور کاکل از ویژگی‌های مطلوب و تعیین‌کننده عملکرد دانه به‌شمار می‌آیند. از این‌رو انتخاب برای این صفات می‌تواند به‌عنوان معیارهایی برای توانایی حفظ عملکرد در شرایط متغیر و غیر قابل پیش‌بینی از نظر تأمین آب مد نظر قرار گیرد. به علاوه انتخاب برای صفات وزن صد دانه، تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک و شاخص برداشت که به غیر از تنش شدید کم آبی، در سایر سطوح آبیاری با عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار داشتند نیز مطلوب خواهد بود. در شرایط تنش شدید

کم آبی گزینش منفی برای عمق دانه و تعداد ردیف در بلال می‌تواند عملکرد دانه را بهبود دهد.

جدول ٤- تجزیه رگرسیون گام به گام عملکرد دانه (متغیر وابسته) با سایر صفات مورد بررسی (متغیرهای مستقل) در سطوح آبیاری و نیتروژن

Table 4- Stepwise regression analysis of grain yield (dependent variable) with other studied traits (independent variables) in irrigation and nitrogen levels

سطوح آبیاری و نیتروژن Irrigation and nitrogen levels	Independent variables	متغیرهای مستقل	عرض از مبدأ Intercept	ضرایب رگرسیون Regression coefficients b_1	b_2	b_3	b_4	ضریب تشخیص R^2	F	خطای استاندارد Standard erorr
$I_{120\%}$	100 grain weight	وزن صد دانه	-167.828	40.443				0.919	68.090**	21.661
	$Grain.row^{-1}$	تعداد دانه در ردیف	40.443	23.255	12.426			0.970	80.900**	14.436
$I_{100\%}$	100 grain weight	وزن صد دانه	-164.163	39.730				0.892	49.621**	28.975
	$Grain.row^{-1}$	تعداد دانه در ردیف	-345.539	26.695	14.509			0.966	71.939**	17.711
$I_{80\%}$	100 grain weight	وزن صد دانه	-536.107	47.765				0.973	216.824**	19.125
	Plant height	ارتفاع بوته	-823.340	42.160	2.740			0.992	306.316**	11.487
$I_{60\%}$	Grain depth	عمق دانه	431.593	-10.204				0.898	52.539**	7.561
	Anthesis to silking	فاصله گرده‌افشانی تا کاکل‌دهی	431.976	-8.513	-3.061			0.966	70.460**	4.789
	$Grain.row^{-1}$	تعداد دانه در ردیف	416.584	-9.147	-3.090	1.211		0.992	156.412**	2.659
	Days to anthesis	تعداد روز تا گرده‌افشانی	520.411	-9.419	-5.807	1.347	-1.023	1.00	2219.431**	0.614
$N_{40\%}$	$Grain.row^{-1}$	تعداد دانه در ردیف	-102.127	23.647				0.974	229.21**	37.429
$N_{70\%}$	Total dry weight	وزن خشک کل	-267.524	0.560				0.959	141.536**	51.243
	Harvest index	شاخص برداشت	-599.767	0.326	18.503			0.998	1234.210**	12.515
	100 grain weight	وزن صد دانه	-723.305	0.319	15.389	10.909		1.00	4271.715**	5.497
$N_{100\%}$	Harvest index	شاخص برداشت	-978.027	17.371				0.986	180.842**	32.504
	Total dry weight	وزن خشک کل	-599.767	18.503	0.326			0.998	1234.210**	12.515
$N_{140\%}$	Harvest index	شاخص برداشت	-872.838	39.867				0.985	406.507**	35.076
	Total dry weight	وزن خشک کل	-658.736	23.006	0.264			0.997	965.341**	16.192
	$Grain.row^{-1}$	تعداد دانه در ردیف	-595.616	18.404	0.290	2.338		1.00	4076.925**	6.441

** معنی‌دار در سطح یک درصد.

** Significant at 1% level.

زادتوت آغاج و همکاران (Zadtot Aghaj *et al.*, 2000) در بررسی همبستگی صفات هیبریدهای دیررس ذرت گزارش کردند که در شرایط آبیاری مطلوب همبستگی طول بلال، تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه و فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل با عملکرد دانه معنی‌دار بود. با اعمال کم آبی در مرحله پر شدن دانه درصد پوشش سبز، تعداد برگ‌های بالای بلال، طول بلال، عمق دانه، تعداد دانه در ردیف و وزن هزار دانه همبستگی معنی‌داری با عملکرد دانه نشان دادند. تأثیر مقادیر مختلف آب بر تغییر همبستگی صفات با عملکرد دانه ذرت (Pourmeidani *et al.*, 1998; Jafari *et al.*, 2009; Momeni and Monirifar, 2012)، عملکرد دانه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) (Darvishzadeh *et al.*, 2011) و عملکرد گل گیاه گل‌محمدی (*Rosa damascene* mill L.) (Nemati Lafmajani *et al.*, 2012) گزارش شده است.

مقایسه همبستگی صفات در سطوح مختلف نیتروژن نشان می‌دهد که همبستگی اکثر صفات با عملکرد دانه تقریباً با هم برابر و از لحاظ مثبت و منفی بودن هم مشابه هستند. بنابراین مقدار نیتروژن بر ارتباط بین صفات تأثیر چندانی نداشته است. به طور کلی با توجه به نتایج تجزیه همبستگی در سطوح مختلف نیتروژن، حفظ ارتباط مثبت بین اندازه بلال، اجزای عملکرد، ارتفاع بوته، طول دانه، تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک و شاخص برداشت با عملکرد دانه و

گزینش منفی برای درصد چوب بلال، ضخامت دانه و فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل در هر وضعیت از دسترسی ذرت به نیتروژن منجر به بهبود عملکرد دانه خواهد شد.

جدول ۵- اثرات مستقیم و غیر مستقیم صفات بر عملکرد دانه در سطوح متفاوت آب و نیتروژن

Table 5- Direct and indirect effects of traits on grain yield in different water and nitrogen levels

	صفات Traits		اثرات مستقیم	اثرات غیر مستقیم Indirect effect				همبستگی Correlation
				X1	X2	X3	X4	
$I_{120\%}$	100 grain weight (X1)	وزن صد دانه	0.551	---	0.407			0.959^{**}
	Grain.row^{-1} (X2)	تعداد دانه در ردیف	0.466	0.482	---			0.948^{**}
					Residual=0.173			
$I_{100\%}$	100 grain weight (X1)	وزن صد دانه	0.635	---	0.310			0.945^{**}
	Grain.row^{-1} (X2)	تعداد دانه در ردیف	0.412	0.477	---			0.889^{**}
					Residual=0.183			
$I_{80\%}$	100 grain weight (X1)	وزن صد دانه	0.871	---	0.115			0.986^{**}
	Plant height (X2)	ارتفاع بوته	0.179	0.564	---			0.741^{**}
					Residual=0.090			
$I_{60\%}$	Grain depth (X1)	عمق دانه	-0.874	---	-0.298	0.067	0.158	-0.947^{**}
		فاصله گرده‌افشانی تا	-0.578	-0.451	---	0.037	0.280	-0.712^{*}
	Grain.row^{-1} (X3)	تعداد دانه در ردیف	0.191	-0.308	-0.112	---	0.042	-0.187^{ns}
	Planting to anthesis (X4)	کاشت تا گرده‌افشانی	-0.295	0.468	0.549	-0.027	---	0.695^{ns}
					Residual=0.018			
$N_{40\%}$	Grain.row^{-1} (X1)	تعداد دانه در ردیف	0.987					0.987^{**}
$N_{70\%}$	Total dry weight (X1)	وزن خشک کل	0.559	---	0.339	0.081		0.979^{**}
	Harvest index (X2)	شاخص برداشت	0.377	0.503	---	0.087		0.968^{**}
	100 grain weight (X3)	وزن صد دانه	0.096	0.467	0.340	---		0.904^{**}
					Residual=0.018			
$N_{100\%}$	Harvest index (X1)	شاخص برداشت	0.520	---	0.443			0.968^{**}
	Total dry weight (X2)	وزن خشک کل	0.515	0.448	---			0.979^{**}
					Residual=0.052			
$N_{140\%}$	Harvest index (X1)	شاخص برداشت	0.458	---	0.461	0.073		0.992^{**}
	Total dry weight (X2)	وزن خشک کل	0.477	0.443	---	0.068		0.988^{**}
	Grain.row^{-1} (X3)	تعداد دانه در ردیف	0.088	0.381	0.369	---		0.838^{**}
					Residual=0.018			

** Significant at 1% level.

** معنی‌دار در سطح یک درصد.

وجود همبستگی مثبت بین تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک با عملکرد دانه به دلیل زمان بیشتر برای انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ذخیره‌ای به دانه‌ها است که با نتایج محمدی (Mohammadi, 2014) تطابق دارد. همبستگی مثبت و معنی‌دار وزن خشک کل با عملکرد دانه بیان‌گر تابعیت عملکرد دانه از ماده خشک تجمع یافته در بافت‌های مختلف گیاه است. همبستگی مثبت و معنی‌دار شاخص برداشت با عملکرد دانه در اکثر شرایط مورد بررسی نیز نشان می‌دهد که همراه با افزایش عملکرد دانه، نسبت عملکرد دانه به وزن خشک کل افزایش یافته است. دویر و همکاران (Dwyer *et al*., 1991) و رفیعی و همکاران (Rafiee *et al*., 2005) نتایج مشابهی در رابطه با همبستگی مثبت وزن خشک کل و شاخص برداشت با عملکرد دانه ذرت گزارش کردند.

همبستگی منفی و معنی‌دار فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل در تمام سطوح آب و نیتروژن مشاهده شد. با توجه به این که در گیاه ذرت آغاز آزاد شدن دانه‌های گرده از گل‌های تاجی چند روز زودتر از آمادگی کاکل‌ها برای تلقیح اتفاق می‌افتد و کاکل‌ها بعد از ظاهر شدن تنها تا هفت روز آمادگی دریافت دانه گرده را دارند (Lauer, 2006)، بنابراین در صورت کاهش فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل به دلیل هم‌زمانی بیشتر بین ریزش دانه‌های گرده با ظهور کاکل‌ها احتمال باروری افزایش می‌یابد (Ghobadi *et al*., 2017). چن و دای

(Chen and Dai, 1996) گزینش برای فاصله کوتاه بین گرده‌افشانی و ظهور کاکل برای تحمل به تنش کم آبی را پیشنهاد دادند. کان و لی (Qun and Li, 1991) عنوان کردند که جهت اصلاح ذرت برای افزایش عملکرد دانه باید بر کاهش فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل و افزایش طول دوره پر شدن دانه تأکید کرد. جعفری و همکاران (Jafari *et al*., 2009) نیز همبستگی منفی و معنی‌دار فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل با عملکرد دانه را در شرایط تنش کم آبی مشاهده کردند.

مشابه با نتایج این مطالعه، محققین همبستگی مثبت بین صفات طول بلال (Gautam *et al*., 1999; Fatemi *et al*., 2006)، قطر بلال (Kordi *et al*., 2016)، ارتفاع بوته (Sadek *et al*., 2006) اجزای عملکرد (Croos *et al*., 1991; Fatemi *et al*., 2006; Jafari *et al*., 2009; Kordi *et al*., 2016) و اندازه دانه (Agrama, 1996) با عملکرد دانه را گزارش کردند.

رگرسیون گام به گام

مقایسه ضرایب رگرسیونی وارد شده به مدل‌ها با ضرایب همبستگی نشان‌دهنده مطابقت نتایج تجزیه رگرسیونی با تجزیه همبستگی در بیشتر شرایط مورد بررسی است. به این معنی که به استثنای شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی، در سایر سطوح آبیاری و نیتروژن تمام صفات وارد شده به مدل‌های رگرسیونی، با عملکرد دانه همبستگی معنی‌دار داشتند. از طرفی مشابه با نتایج تجزیه همبستگی، نتایج تجزیه رگرسیون نیز نشان داد که تأثیر صفات بر عملکرد دانه تا حدودی تحت تأثیر شرایط محیطی می‌باشد.

با توجه به نتایج، در شرایط تأمین ۱۲۰، ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی وزن صد دانه به‌عنوان اولین متغیر وارد شده به مدل، درصد بالایی از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کرد. بنابراین این صفت در شرایط بدون تنش کم آبی و تنش ملایم کم آبی، می‌تواند به‌عنوان مؤثرترین صفت در افزایش عملکرد دانه معرفی شود. در شرایط تنش شدید کم آبی، عمق دانه بیشترین سهم را در توجیه تغییرات عملکرد دانه داشت. در رابطه با سطوح نیتروژن، در شرایط تأمین ۷۰، ۱۰۰ و ۱۴۰ درصد نیاز گیاه، صفات شاخص برداشت و وزن خشک کل که درصد قابل توجهی از کل تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمودند به‌عنوان مؤثرترین صفات تعیین‌کننده عملکرد دانه به‌شمار می‌آیند. در صورت کمبود شدید نیتروژن تعداد دانه در ردیف بر عملکرد دانه مؤثر خواهد بود.

جعفری و همکاران (Jafari *et al*., 2009) با تجزیه رگرسیونی عملکرد دانه ذرت به‌عنوان متغیر وابسته در مقابل سایر صفات به‌عنوان متغیر مستقل گزارش کردند که در شرایط آبیاری مطلوب صفات تعداد روز تا ظهور کاکل، تعداد دانه در ردیف، تعداد ردیف در بلال و سطح برگ پرچم در مجموع ۹۲ درصد از کل تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمودند. با اعمال تنش کم آبی صفات فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، عمق دانه و طول گل‌تاجی وارد مدل رگرسیونی شدند و ۸۳ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند. در مطالعه فاطمی و همکاران (Fatemi *et al*., 2006) فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل و وزن هزار دانه با ضریب تبیین ۶۷/۷ درصد مدل رگرسیونی را تشکیل دادند.

تجزیه علیت

در شرایط تأمین ۱۲۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، صفات وزن صد دانه و تعداد دانه در ردیف علاوه بر اثرات مستقیم بالا بر عملکرد دانه، دارای اثرات غیر مستقیم قابل توجهی از طریق یکدیگر بر عملکرد دانه بودند. در نتیجه تلاش برای بهبود هر یک از آن‌ها باعث افزایش دیگری می‌شود. در ضمن این صفات دارای بیشترین همبستگی با عملکرد دانه بودند. بنابراین همبستگی‌های ساده رابطه واقعی را نشان داده و در شرایط بدون تنش کم آبی گزینش بر اساس این صفات برای افزایش عملکرد دانه مؤثر خواهد بود. یزدان‌دوست همدانی و رضایی (Yazdandoost Hamedani and Rezai, 2001) نیز اثرات مستقیم مثبت وزن صد دانه و تعداد دانه در بلال و اثرات غیر مستقیم مثبت آن‌ها از طریق یکدیگر بر عملکرد دانه را گزارش کردند. در شرایط تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی، اثر مستقیم بالای وزن صد دانه و اثر غیر مستقیم ارتفاع بوته از طریق آن بر عملکرد دانه مشاهده شد. بر این اساس انتخاب برای وزن صد دانه بیشتر، در شرایط تنش ملایم کم آبی منجر به افزایش ارتفاع بوته و عملکرد دانه خواهد شد. نتایج تجزیه علیت در شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی در تأیید نتایج تجزیه همبستگی نشان داد که گزینش مستقیم برای عمق دانه و فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل کمتر به همراه تعداد روز تا گرده‌افشانی بیشتر مناسب خواهد بود. از طرفی با توجه به همبستگی منفی تعداد دانه در ردیف با عملکرد دانه و مثبت بودن اثر مستقیم آن، در شرایط تنش شدید کم آبی باید اثرات غیر مستقیم تعداد دانه در ردیف از طریق سایر صفات نیز به‌طور هم‌زمان مورد توجه قرار گیرد.

در رابطه با سطوح نیتروژن، در شرایط تأمین ۴۰ درصد نیاز گیاه، تعداد دانه در ردیف اثر مستقیم بالایی بر عملکرد دانه داشت. در شرایط تأمین ۷۰، ۱۰۰ و ۱۴۰ درصد نیاز نیتروژن، صفات وزن خشک کل و شاخص برداشت علاوه بر اثرات مستقیم نسبتاً بالا بر عملکرد دانه، اثر غیر مستقیم بالایی بر یکدیگر داشتند. از طرفی علی‌رغم اثر مستقیم ناچیز صفات وزن صد دانه و تعداد دانه در ردیف بر عملکرد دانه در برخی از سطوح نیتروژن، اثر غیر مستقیم آن‌ها از طریق وزن خشک کل و شاخص برداشت قابل توجه بود. بنابراین این صفات می‌توانند به‌عنوان معیار گزینشی مد نظر قرار گیرند. به‌طور مشابه در مطالعه کردی و همکاران (Kordi *et al*., 2016) با وجود اثر مستقیم اندک صفات وزن چهارصد دانه و تعداد دانه در ردیف بر عملکرد دانه،

به دلیل اثرات غیر مستقیم بالای آن‌ها از طریق سایر صفات، همبستگی این صفات با عملکرد دانه بالا بود.

احمدی و همکاران (Ahmadi *et al*., 2000) با توجه به بالا بودن اثر مستقیم تعداد دانه در ردیف و قطر بلال بر عملکرد دانه و اثرات غیر مستقیم آن‌ها بر یکدیگر در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش کم آبی، اهمیت افزایش عملکرد دانه از طریق این صفات را گزارش کردند. به گزارش زادتوت آغاج و همکاران (Zadtot Aghaj *et al*., 2000) در شرایط بدون تنش کم آبی وزن هزار دانه و طول بلال و در شرایط تنش کم آبی وزن هزار دانه، درصد پوشش سبز و طول بلال دارای اثرات مستقیم و مثبت و ارتفاع بوته دارای اثر مستقیم و منفی بر عملکرد دانه بود. نتایج تجزیه علیت در مطالعه پاک‌نژاد و همکاران (Paknejad *et al*., 2009) نشان داد که طول بلال بیشترین تأثیر مستقیم را بر عملکرد دانه می‌گذارد. به علاوه سایر صفات مؤثر بر عملکرد دانه نیز بیشترین تأثیر غیر مستقیم خود را از طریق طول بلال روی عملکرد دانه گذاشتند. در مطالعه کردی و همکاران (Kordi *et al*., 2016) در روش محلول‌پاشی اوره قطر بلال، ارتفاع بوته و تعداد دانه در ردیف و در روش مصرف خاکی اوره قطر بلال و وزن بلال بیشترین اثرات مستقیم و مثبت را بر عملکرد دانه دارا بودند. وجود تفاوت بین نتایج این تحقیق با نتایج سایر مطالعه‌ها را می‌توان به متفاوت بودن رقم، شرایط محیطی و مدیریت‌های زراعی نسبت داد. چرا که اهمیت نسبی صفات مختلف در تعیین عملکرد دانه تحت تأثیر این عوامل قرار می‌گیرد.

نتیجه‌گیری

مقایسه نتایج تجزیه همبستگی، رگرسیون گام به گام و تجزیه علیت در شرایط مورد بررسی نشان داد که روابط صفات با عملکرد دانه تحت تأثیر وضعیت دسترسی به آب و نیتروژن قرار می‌گیرد. از این رو برای گزینش ارقام پر عملکرد و مناسب برای سطوح مختلف آب و نیتروژن باید از صفات خاصی بهره برد تا به ارقامی با عملکرد بالا دست یافت. در تمام شرایط مورد بررسی، صفات وارد شده به مدل‌های رگرسیونی بیش از ۹۵ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند. از طرفی با توجه به این‌که این صفات در اکثر شرایط بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه داشتند، می‌توان گفت که تجزیه همبستگی رابطه واقعی بین صفات با عملکرد دانه را نشان داده است. بر اساس نتایج تجزیه علیت، در شرایط بیش آبیاری و آبیاری کامل، صفات وزن صد دانه و تعداد دانه در ردیف و در شرایط تنش ملایم کم آبی، وزن صد دانه و ارتفاع بوته به دلیل اثرات مستقیم قابل توجه و اثرات غیر مستقیم آن‌ها از طریق یکدیگر بر عملکرد دانه سهم به‌سزایی در انتخاب جهت افزایش عملکرد به خود اختصاص می‌دهند. در شرایط تنش شدید کم آبی گزینش مستقیم برای عمق دانه و فاصله گرده‌افشانی تا ظهور کاکل کمتر به همراه تعداد روز تا گرده‌افشانی بیشتر مناسب خواهد بود. به استثنای کمبود شدید نیتروژن، در سایر سطوح نیتروژن انتخاب بر اساس وزن خشک کل و شاخص برداشت مفید خواهد بود. همچنین صفات تعداد دانه در ردیف و وزن صد دانه نیز به دلیل اثر غیر مستقیم بالای آن‌ها بر عملکرد دانه در سطوح مختلف نیتروژن باید مورد توجه قرار گیرند. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد دانه ذرت ویژگی پیچیده‌ای است و برای دست‌یابی به تولید بیشتر در شرایط محیطی مورد نظر، باید به روابط بین صفات توجه شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از زحمات جناب آقای دکتر هوشمند صفری که در انجام مراحل مختلف این پژوهش همکاری داشتند، صمیمانه قدردانی می‌شود.

References

1. Agrama, H. A. S. 1996. Sequential path analysis of grain yield and it's components in maize. Plant Breeding 115: 343-346.
2. Ahmadi, J., Zeinali, H., Rostami, M. A., and Chogun, R. 2000. Study of drought resistance in commercially late-maturing dent corn hybrids. Iranian Journal of Agricultural Sciences 31 (4): 891-907. (in Persian with English abstract).
3. Alizadeh, A., Vazifeh Doost, M., Kamali, Gh., Bastani, Kh., Mortazavi, A., and Izadi, A. 2002. Software for optimizing pattern of agriculture water use AWAT.
4. Alizadeh Oghyanous, P., Azari, A., and Salimi, M. 2008. Study the reaction of grain yield maize lines and hybrids on moisture stress and nitrogen fertilizer interaction. Proceeding of 1st Environmental Tensions in Agricultural Science Conference. February 4-5, Birjand, Iran. (in Persian with English abstract).
5. Amiri, S., Noormohamadi, S., Jafari, A. A., and Chugan, R. 2009. Correlation, regression and path analysis for grain yield and yield components on early maturing hybrids of grain corn. Journal of Plant Production 16 (2): 99-112.
6. Asghari, M., and Hanson, R. G. 1984. Nitrogen, climate and previous crop effect on corn yield and grain N. Agronomy Journal 76: 537-542.
7. Chen, J., and Dai. J. 1996. Effect of drought on photosynthesis and grain yield of corn hybrids with different drought tolerance. Acta Agronomica Sinica 22 (6): 257-765.

8. Croos, H. Z. 1991. Leaf expansion rate effects on yield and yield components in early maturing maize. Crop Science 31: 579-583.
9. Darvishzadeh, R., Maleki, H. H., and Sarrafi, A. 2011. Path analysis of the relationships between yield and some related traits in diallel population of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under well-watered and water stressed conditions. Australian Journal of Crop Science 5 (6): 674-680.
10. Dawari, N. H., and Luthra, O. P. 1991. Character association studies under high and low environments in wheat (*Triticum aestivum* L.). Indiana Journal of Agricultural Research 25: 515-518.
11. Devi, I. S., Muhammad, S., and Mohammed, S. 2001. Character association and path coefficient analysis of grain yield and yield components in double cross of maize (*Zea mays* L.). Journal of Crop Research Hisar 21 (3): 335-359.
12. Dewey, K. D., and Lu, K. H. 1959. A correlation and path coefficient analysis of components of crested wheat grass seed production. Journal of Agronomy 51: 515-520.
13. Dwyer, L. M., Hamilton, R. I., Hayhoe, H. N., and Royds, W. 1991. Analysis of biological traits contributing to grain yield of short-to mid-season corn (*Zea mays* L.) hybrids. Canadian Journal of Plant Science 71: 535-541.
14. Falconer, D. S., and Mackay, T. F. C. 1996. Introduction to quantitative genetics. 4th ed. Longmans Green, Harlow, Essex, UK.
15. Fatemi, R., Kahraryan, B., Ghanbary, A., and Valizadeh, M. 2006. The evaluation of different irrigation regims and water requirement on yield and yield components of corn. Journal of Agricultural Sciences 1: 133-141.
16. Gautam, A. S., Mittal, R. K., and Bhandari, J. C. 1999. Correlations and path analysis in popcorn (*Zea mays Everta*.). Annals of Biology Ludhiana 15 (2): 193-196.
17. Ghobadi, R., Ghobadi, M., Mondani, F., Jalali Honarmand, S., and Farhadi Bansooleh, B. 2017. Effect of irrigation and nitrogen interactions on phenologic characteristics and growth indices of seed corn. Journal of Plant Process and Function 6 (21): 349-368.
18. Griffiths, D. J. 1995. Breeding for higher seed yields from herbage varieties. Journal of the National Institute of Agricultural Botany 10: 320-331.
19. Hunter, R. B. 1980. Increased leaf area (source) and yield of maize in short-season areas. Crop Science 20: 571-574.
20. Jafari, A., Paknejad, F., and Nasri, M. 2009. Evaluating causal relations in grain yield of corn hybrids under normal soil moisture and drought stress condition. Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding 5 (2): 85-96. (in Persian with English abstract).
21. Jafarnodeh, S., Sheikh, F., and Soltani, A. 2017. Identification of plant characteristics related to seed yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes using regression models. Iranian Journal of Crop Sciences 19 (3): 208-219. (in Persian with English abstract).
22. Kalla, V., Kumar, R., and Basandrai, A. K. 2001. Combining ability analysis and gene action estimates of yield and yield contributing characters in maize. Journal of Crop Research Hisar 22: 102-106.
23. Kordi, S., Daneshvar, M., Sayyahfar, M., and Shah Karami, Gh. 2016. Study of correlation and path analysis of yield, yield components and some morphological traits in corn hybrids under different fertilizer application methods. Agronomy Journal 111: 66-74. (in Persian with English abstract).
24. Kumar, V., Nandan, R., Srivastava, K., Sharma, S. K., Kumar, R., and Kumar, A. 2013. Genetic parameters and correlation study for yield and quality traits in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Plant Archives 13 (1): 463-467.
25. Lauer, J. 2006. Concerns about drought as corn pollination begins. University of Wisconsin, Agronomy department.
26. Mohammadi, S. 2014. The relationship between yield and its components in bread wheat under irrigation and terminal drought stress using multivariate statistical methods. Iranian Journal of Field Crops Research 12 (1): 99-109.
27. Momeni, Y., and Monirifar, H. 2012. Effect of water deficit stress on yield and yield components in corn using path analysis. Journal of Crop Ecophysiology 6 (3): 339-352. (in Persian with English abstract).
28. Nemati Lafmajani, Z., Tabaei-Aghdaei, S. R., Lebaschi, M. H., Jafari, A. A., Najafi Ashtiani, A., and Daneshkhah, M. 2012. Path analysis of *Rosa damascena* Mill. Performance under different conditions. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27 (4): 561-572. (in Persian with English abstract).
29. Paknejad, F., Vazan, S., Golzardi, F., and Habibi, D. 2009. Investigation of traits correlations, regression and path analysis for yield and yield components of SC704 corn hybrid under different irrigation regimes and methods. Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding 5 (2): 97-116. (in Persian with English abstract).
30. Pourmeidani, H., Moghaddam, M., Chogan, R., and Peighambari, A. 1998. Investigating phonotypic and genotypic correlations and path analysis in early ripening corn hybrids in normal and drought stress conditions. 5th congress of agricultural sciences and plants breeding. Agust 31, Karaj, Iran. (in Persian with English abstract).
31. Qun, T. C., and Li, Z. G. 1991. Studies of the inheritance of kernel growth characters and their relation to yield characters in maize. Acta Agronomica Sinica 17 (3): 183-191.

32. Rafiee, M., Karimi, M., Nour-Mohammadi, G., and Nadian, H. A. 2005. Investigation of traits correlations and path analysis of corn (*Zea mays* L.) seed yield in different treatments of drought stress. Agricultural Research 4 (2): 33-48. (in Persian with English abstract).
33. Rafiq, M., Rafique, M., Hussain, A., and Altaf, M. 2010. Studies on the heritability, correlation and path analysis in maize (*Zea mays* L.). Journal of Agricultural Research 48: 35-38.
34. Rahimi, M., Ramezani, M., and Ozoni Davaji, A. 2016. Investigation of path and correlation analysis of pattern and plant densities effect on two rapeseed cultivars. Journal of Crop Breeding 8 (19): 218-227. (in Persian with English abstract).
35. Razi, H., and Assad, M. T. 1999. Comparison of selection criteria in normal and limited irrigation in sunflower. Euphytica 105: 83-90.
36. Sadek, S. E., Ahmed, M. A., and Abdel-Ganeey, H. M. 2006. Correlation and path coefficient analysis in five parents inbred lines and their six white maize (*Zea mays* L.) single crosses developed and grown Egypt. Journal of Applied Sciences Research 2 (3): 159-167.
37. Singh, M. 1990. Standard errors of the estimates of genotypic and phenotypic correlation. Biometrics Report 1/90. Computer service. Icarda, 7.pp.
38. Yazdandoost Hamedani, M., and Rezai, A. M. 2001. A study of morphological and physiological basis of corn yield through path analysis. Iranian Journal of Agricultural Sciences 32 (3): 671-680. (in Persian with English abstract).
39. Zadtot Aghaj, S., Kazemi Tabar, S. K., Amini, A., and Khalili, M. 2000. Study traits correlation and path analysis in corn late hybrids in normal and drought stress condition in grain filling stage. The 6^{th} Crop Production and Breeding Congress. September 3-6, Babolsar, Iran. (in Persian with English abstract).
40. Zeid, I. M., and Semary, N. A. 2001. Response of two differentially drought tolerant varieties of maize to drought stress. Pakistan Journal of Biological Sciences 4 (7): 779-784.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 2, Summer. 2019, p. 275-289

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸، ص. ۲۸۹-۲۷۵

Study the Correlation and Path Analysis of Yield and its Related Traits of Maize under Different Water and Nitrogen Conditions

R. Ghobadi[1], M. Ghobadi[2]*, S. Jalali Honarmand[2], B. Farhadi[3], F. Mondani[4]

Received: 20-03-2018
Accepted: 03-11-2018

Introduction

Grain yield depends on genetic potential of plant. Environmental factors play an important role to achieve this potential. Inappropriate management of irrigation and nitrogen are main factors to reduce the maize yield. Better control of environmental effects in breeding programs can be achieved through indirect selection for traits that in addition to high heritability have a good correlation with yield and be less affected by environmental changes. This study was conducted to investigate the correlation and cause and effect relationships between some traits with yield of maize in different irrigation and nitrogen conditions.

Materials and Methods

This experiment was done during 2014-15 at Razi University, Kermanshah, Iran. The experiment was conducted as split plot. Main plot factor was four irrigation levels included supplying 120, 100, 80 and 60% water requirement ($I_{120\%}$, $I_{100\%}$, $I_{80\%}$ and $I_{60\%}$, respectively), and sub-plot factor included four nitrogen levels 40, 70, 100 and 140% ($N_{40\%}$, $N_{70\%}$, $N_{100\%}$ and $N_{140\%}$, respectively) of recommended amount based on the soil test. During growth period, the time of occurrence of growth stages were recorded and at harvest stage, yield, its components, ear size and grain dimensions were measured. Pearson correlation coefficients and stepwise regression analysis were determined using SPSS software. Direct and indirect effects of traits on grain yield were determined by path analysis using PATH2 software.

Results and Discussion

Results of correlation analysis in all irrigation conditions showed that the higher total dry weight and less interval of anthesis until silking are desirable. In addition, selection for 100 grain weight, number of days from planting until physiological maturity and harvest index in $I_{120\%}$, $I_{100\%}$ and $I_{80\%}$ would improve grain yield. Under $I_{60\%}$, negative selection for grain depth and number rows per ear can improve grain yield. Positive correlation between ear size, yield components, plant height, grain length, number of days from planting until physiological maturity and harvest index with grain yield and negative selection for cob percent, grain thickness and interval of anthesis until silking in all nitrogen levels would improve grain yield. Results of regression analysis under $I_{120\%}$, $I_{100\%}$ and $I_{80\%}$ showed that 100 grain weight explained a high percentage of grain yield changes. Under $I_{60\%}$, grain depth had the highest contribution to explaining grain yield changes. Under $N_{70\%}$, $N_{100\%}$ and $N_{140\%}$, harvest index and total dry weight that explain a significant percentage of total grain yield changes. In $N_{40\%}$, number of grain per row will be effective on grain yield. In $I_{120\%}$ and $I_{100\%}$, 100 grain weight and number grains per row, in addition to high direct effects on grain yield, had a significant indirect effect on grain yield through each other. In $I_{80\%}$direct effect of 100 grain weight and indirect effect of plant height through it on grain yield were observed. In $I_{60\%}$ selection for grain depth, interval of anthesis until silking and days from planting until anthesis would be more appropriate. Due to negative correlation between grain number per row with grain yield and positive direct effect of it in $I_{60\%}$, the indirect effects of grain number per row should be considered. Regarding nitrogen levels, in $N_{40\%}$, grain number per row had a direct effect on grain yield. In $N_{70\%}$, $N_{100\%}$ and $N_{140\%}$, total dry weight and harvest index in addition to relatively high direct effects on grain yield, had an indirect effect on each other.

1- PhD Graduate of Crop Physiology, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Razi University, Kermanshah
2 and 4- Associate Professor and Assistant Professor respectively, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Razi University, Kermanshah
3- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah
(*- Corresponding Author Email: ghobadi.m@razi.ac.ir)

Conclusions

In all environmental conditions, traits entered to regression models explained more than 95% of grain yield changes. Based on the results of path analysis, under $I_{120\%}$ and $I_{100\%}$ conditions, 100 grain weight and number of grains per row, in $I_{80\%}$, 100 grain weight and plant height, under severe deficit irrigation, grain depth and interval of anthesis until silking due to considerable direct and indirect effects on yield introduced as proper indices to improve grain yield. At all nitrogen levels, selection based on total dry weight and harvest index will be helpful. Number of grains per row and 100 grain weight should also be considered due to high indirect effects on grain yield at some nitrogen levels.

Keywords: Grain yield, Independent variable, Stepwise regression, Water deficit